

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování



Preventivní údržba klíčových strojů

The Preventive Maintenance of the key Machines

Student: Zdeněk Matela

Vedoucí práce: doc. Ing. František Helebrant, CSc.

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

Zdeněk Matela

Adresa:

Brusné 156

768 61 Bystřice pod Hostýnem

Poděkování:

Touto cestou bych chtěl poděkovat doc. Ing. Františku Helebrantovi, CSc. za vedení mé práce a cenné připomínky.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MATELA, Z. Preventivní údržba klíčových strojů, Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 51 s, Bakalářská práce, Vedoucí: doc. Ing. František Helebrant, CSc.

Bakalářská práce se zabývá řešením preventivní údržby klíčových strojů, které mají odhalit a odstranit takové kritické stavy, které by mohly vést k předčasným poruchám a ke ztrátám ve výrobě nebo poškození.

V první části práce jsou popsány základní úkoly, postupy a monitorování preventivní údržby.

Ve druhé části jsou uvedeny prostředky k zajištění preventivní údržby s využitím tribodiagnostiky a vibrodiagnostiky.

Třetí část obsahuje návrh metodického pokynu – směrnice pro plánování preventivní údržby.

Ve čtvrté části je zpracován reengineering údržby k zajištění provozuschopnosti výrobního úseku a celé firmy.

ANNOTATION OF THESIS

MATELA, Z. The Preventive Maintenance of the key Machines, Ostrava: Department of production machines and design, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB - Technical University of Ostrava, 2009, 51 p., Thesis, head: doc. Ing. František Helebrant, CSc.

My thesis is about the preventive maintenance of the key machines, that have to discover and remove critical states, which could lead to the premature breakdowns and to the loss in the production or damages.

In the first part are described basic works, procedures and monitoring of the preventive maintenance.

In the second part are mentioned methods to assure preventive maintenance using tribodiagnosics and vibrodiagnosics.

The third part includes proposal of the methodical instructions – directions for the planning of the preventive maintenance.

The fourth part is devoted to reengineering of the maintenance to assure the ability of the operation, productive section and all the factory.

OBSAH

1. ÚVOD	9
2. ANALÝZA PREVENTIVNÍ ÚDRŽBY	10
2.1. Údržba a efektivnost zařízení.	10
2.1.1. Základní cíle údržby.	10
2.1.2. Základní úkol plánování a řízení údržby.	11
2.2. Preventivní údržba.....	12
2.2.1. Seznam klíčových strojů.	13
2.2.2. Postupy preventivní údržby.	14
2.2.3. Plánování kroků preventivní údržby.....	15
2.2.4. Sledování oprav při údržbě po poruše.....	15
2.2.5. Seznam náhradních dílů.....	16
2.2.6. Dokumentování, hodnocení a zlepšování cílů údržby.	16
2.2.7. Sběr dat o provedené preventivní údržbě.....	17
3. IDEOVĚ TECHNICKÝ NÁVRH	19
3.1. Tribodiagnostika.	19
3.1.1. Základní úkoly tribodiagnostiky.....	20
3.1.2. Rozdělení metod tribotechnické diagnostiky.....	20
3.1.3. Kinematická viskozita.	21
3.1.4. Bod vzplanutí.....	22
3.1.5. Obsah vody.	22
3.1.6. Číslo alkality a kyselosti.....	24
3.1.7. Conradsonův karbonizační zbytek.....	24

3.1.8. Kapková zkouška.	25
3.1.9. Celkové znečištění.	26
3.1.10. Odběr vzorku.	28
3.2. Vibrodiagnostika.	29
3.2.1. Provozní vyvažování rotujících objektů.	30
3.2.2. Nesouosost.....	31
3.2.3. Letmo uložený rotor, ohnutý hřídel, mechanická vůle.....	32
3.2.4. Vibrace ozubených převodů.	33
3.2.5. Valivá a kluzná ložiska.	34
3.2.6. Měření a vyhodnocení vibrací.....	37
4. NÁVRH SYSTÉMU ÚDRŽBY	41
4.1. Rozdělení klíčových strojů.	42
4.2. Postupy a plánování preventivní prohlídky.	42
4.3. Seznam náhradních dílů.....	43
4.4. Sběr dat o provedené preventivní prohlídce.	43
4.5. Vyúčtování preventivní prohlídky.	44
5. NÁVRH REENGINEERINGU ÚDRŽBY	45
5.1. Základní ideový návrh.....	46
6. ZÁVĚR	49
LITERATURA	50
PŘÍLOHY	51

1. Úvod

Zvyšování provozuschopnosti a provozní spolehlivosti, zajištění delších intervalů mezi údržbářskými odstávkami, efektivní využití pracovníků údržby, lepší a efektivní technická podpora, účinnější využití informací, jsou známé způsoby zvyšování produktivity výroby, ale bohužel ne vždy plně využívány. Efektivnost a zisk je v čím dál větší míře dosahován pomocí outsourcingu výroby. Je nutné si plně uvědomit, že v dnešním moderním podnikání se pak nástroji řešení stávají i dříve opomíjené problémy, ke kterým patří především údržba za podmínky jejího systémově procesního chápání.

Cílem každé údržby je v nejjednodušším a základním pohledu udržovat výrobní zařízení v technicky dobrém a provozuschopném stavu při vynakládání optimálních nákladů. Splnění daného cíle je velmi obtížné, údržba bezesporu patří k základním procesům každé výroby, ale je procesem velmi rozporným, neboť na straně jedné spotřebovává finanční prostředky, pracovní sílu, snižuje časový fond apod. a na straně druhé odstraňuje následky opotřebení, čímž prodlužuje životnost a zvyšuje provozní spolehlivost.

Jedná se tedy o řízení procesu, který se svojí složitostí blíží řízení výrobní společnosti, který vždy má určitou dávku neurčitelnosti při svém řešení, kterému je jeho složitost a neurčitost navyšována lidskou složkou, neboť je všeobecně známo, že chování každého systému, jehož součástí jsou lidé nelze nikdy úplně předpokládat a předpovědět.

Údržba se tak stává nedílnou a integrující součástí každého toku výrobního procesu výrobní společnosti, kdy potřebuje definovat vizi a strategii, formulovat opravdu měřitelné a kontrolovatelné cíle, zjednodušit procesy a nároky na zdroje, zjednodušit strukturu a zvýšit motivaci lidí a tím vytvořit předpoklady správného fungování nejen údržby, ale celé výrobní společnosti.

Bylo by zcela milné tvrdit, že existuje univerzální recept na řešení systému údržby výrobních společností. Každý systém musí respektovat charakter výrobního procesu a podmínek, existují obecné zásady, jež při systémovém procesním chápání jsou aplikovatelné na danou konkrétní verzi systému údržby výrobní společnosti.

2. ANALÝZA PREVENTIVNÍ ÚDRŽBY

2.1. Údržba a efektivnost zařízení

Výrobní společnosti používají a nakupují stále složitější výrobní zařízení. V důsledku toho jsou nuceny průběžně vynakládat značné finanční prostředky a lidské zdroje na údržbu a obnovu těchto velmi drahých výrobních technologií, tak aby byla zajištěna jejich maximální produktivita. Ne vždy jsou však tyto nemalé prostředky vynakládány efektivně, čímž dochází ke zbytečnému zvyšování celkových výrobních nákladů. Nepřesné informace o skutečném provozu výrobních zařízení, nesprávné časové rozvržení prohlídek a preventivní údržby, nevhodné použití postupů pro údržbu, špatná evidence a plánování zásob náhradních dílů, nedostatečné využití lidského potenciálu. To jsou příklady typických problémů, které se v oblasti údržby vyskytují v mnoha podnicích.

2.1.1. Základní cíle údržby

Základním cílem údržby je bezesporu zabezpečovat bezporuchovou funkci udržovaného majetku s vynaložením co nejnižších nákladů. K tomuto cíli může údržba dospět jen v tom případě, je-li dobře řízena. Řízení údržby spočívá v efektivním plánování a provádění údržbářských činností, které mají za cíl zachování provozuschopnosti veškerého hmotného majetku společnosti. Procesy plánování a řízení údržby zahrnují mnoho různých funkcí, od přípravy údržbářských činností přes jejich provádění až po zajišťování zdrojů potřebných pro jejich dokončení.

Pro kvalitní plánování a řízení údržby jsou třeba aktuální informace o:

- Efektivní správě majetku
- Snadnějším plánování a účinném sledování aktivit údržby
- Identifikaci zařízení s vysokou poruchovostí nebo nadměrnými náklady na údržbu
- Snížení nákladů na údržbu a provoz zařízení

- Efektivním řízení zásob náhradních dílů
- Optimalizaci nákupních aktivit a skladování
- Zvýšení produktivity útvaru údržby, lepším využití lidských zdrojů
- Snížení nákladů na řízení z hlediska plánování a sledování aktivit údržby
- Zvýšení produktivity zaměstnanců údržby
- Zvýšení využitelného provozního času zařízení, zvýšení produktivity a kvality
- Snížení spotřeby energie, prodloužení životnosti zařízení
- Technologickém postupu opravy a požadovaném rozsahu práce
- Lepší informací pro vedení, lepší rozhodování

Je nutno zvážit požadavky na jednotlivé profese, naléhavost údržbářského zásahu, čas, který je k dispozici, a dostupnost zařízení pro údržbu.

2.1.2. Základní úkol plánování a řízení údržby

Základním úkolem plánování a řízení údržby je dosáhnout dlouhodobé rovnováhy mezi hodnotou provozovaných zařízení, jejich spolehlivostí a bezpečností a náklady na údržbu. Klíčem k dosažení této rovnováhy je především oblast plánované preventivní údržby, kde vzniká rozhodující část ovlivnitelných nákladů. Zároveň však má jejich výše zásadní vliv na spolehlivost a bezpečnost zařízení. Je zřejmé, že k dosažení těchto cílů jsou nezbytné přesné a včasné informace o všech aspektech údržbářských činností s využitím informační technologie v údržbě. Pokud nebude využita informační technologie v systému řízení údržby, nastanou časem rizika s častějšími poruchami a haváriemi na zařízení, ztráty a manka v hospodaření s náhradními díly, nepřesné informace o výměnách a opravách zařízení, neefektivním využití pracovních sil. Aplikací informační technologie tak vedoucí pracovník údržby získá jedinečný prostředek pro řízení údržbářské činnosti, rychlý přístup ke všem informacím potřebným k účinnému rozhodování. Archivovaná data

soustředí pozornost údržby k těm systémům a zařízením, která mají nejvyšší náklady na opravy a zároveň odhalí i vliv lidského činitele v procesu údržby.

2.2. Preventivní údržba

Jednou z možností ovlivnění systému procesu údržby je provádění plánované preventivní údržby - preventivních prohlídek. Termín preventivní údržba se často spojuje s pojmy, jako jsou prediktivní údržba a monitorování stavu zařízení, protože každá z těchto forem svým způsobem zabraňuje poruchám zařízení a neplánovaným prostojům, všechny se alternativně používají při popisu programů preventivní údržby. Preventivní údržba je založena na plánování preventivních prohlídek strojů a zařízení, které mají odhalit a odstranit takové kritické stavy, které by mohly vést k předčasným poruchám a ke ztrátám ve výrobě nebo poškození. Daný systém je velmi nákladný, protože je založen na pevném časovém cyklu bez objektivního technického stavu daného stroje či zařízení. Při preventivní údržbě je výhodou plánované odstavení, které vytváří technologické odstávky k řešení výrobních problémů v kompromisu s výrobou.

Střední doba do poruchy respektive "vanová křivka" naznačuje, že nové zařízení má vysokou pravděpodobnost poruch v průběhu prvních několika hodin nebo týdnů provozu, což je obvykle způsobeno výrobními nebo instalačními problémy. Po tomto počátečním období je pravděpodobnost poruchy po delší časové období relativně nízká. Po tomto normálním období životnosti zařízení prudce narůstá pravděpodobnost poruchy s uplynulým časem nebo provozními hodinami. Skutečné provádění preventivní údržby se značně liší. Některé programy jsou mimořádně omezené a spočívají v mazání a menším seřizování. Obsáhlejší programy preventivní údržby plánují opravy, mazání, seřizování a rekonstrukce zařízení pro veškeré kritické strojní vybavení závodu. Společným zájmem pro všechny tyto programy preventivní údržby je metodický pokyn - směrnice pro plánování. Veškeré programy řízení preventivní údržby předpokládají, že zařízení bude stárnout ve statistickém časovém rámci typickém pro jeho konkrétní klasifikaci.

Metodický pokyn - směrnice pro plánování preventivní údržby strojů a zařízení musí obsahovat určité požadavky:

- Seznam klíčových strojů a zařízení
- Postupy preventivní údržby
- Plánování kroků preventivní údržby
- Sledování oprav – údržba po poruše
- Seznam náhradních dílů pro klíčová výrobní zařízení a zajištění jejich dostupnosti
- Dokumentování, hodnocení a zlepšování cílů údržby
- Sběr dat o provedené preventivní údržbě, opravě a digitalizaci ručně psaných dokumentů

2.2.1. Seznam klíčových strojů

Pro takto zpracovanou problematiku preventivních prohlídek, použijeme účelné roztržidění všech strojů, zařízení a jejich částí zahrnutých do systému, na předem určené skupiny.

- **Skupina 1**
 - stroje a zařízení, které jsou nezbytně nutné pro zachování výrobního procesu
 - stroje a zařízení, u nichž podle zkušenosti vznikají vysoké náklady na opravy
 - stroje a zařízení, u nichž se musí počítat s dlouhými dodacími lhůtami náhradních dílů
 - stroje a zařízení, jejichž výpadek ohrožuje bezpečnost obsluhy a životního prostředí

➤ Skupina 2

- stroje a zařízení, jejichž výpadek by citelně omezil výrobní proces,
- stroje a zařízení, které podle zkušeností jsou poruchové

➤ Skupina 3

- stroje a zařízení, které sice v případě poruchy nezpůsobí žádný znatelný výpadek výroby, jsou však důležité pro bezvadné fungování určitého procesu

➤ Skupina 4

- všechny ostatní stroje a zařízení, které nemají významný vliv na výrobu, např. stroje, které jsou k dispozici v nadbytečném množství

Zařazení do jednotlivých skupin musíme provést individuálně pro každý jednotlivý stroj či zařízení se zřetelem k jeho zapojení a využití ve výrobním procesu.

Po vytvoření seznamu klíčových strojů a zařízení a stanovení příslušných priorit se k nim stanoví četnosti technických a praktických prohlídek. Četnost prohlídek je přímo ovlivněna významem daného stroje ve výrobním procesu. Jednotlivé úkony pro preventivní prohlídky získáváme z technické dokumentace strojů a zařízení zpracované a doporučené výrobcem. Takto zpracované informace mohou být ještě doplněny o další úkony dle zkušeností údržby s podobnými stroji a zařízeními ve výrobním provozu.

2.2.2. Postupy preventivní údržby

Postupy preventivní údržby, kterými se řídí činnosti, jak interní údržby, tak externí údržby pro dané úkony od kontroly, mazání, seřízení, opravy až po analýzu a vyhodnocení. Jednotlivé postupy můžeme rozdělit na:

➤ Specifikaci kontrolního kroku

- Popis kontrolní operace
- Použité nářadí
- Plán postupů při zjištěné závadě či neshodě kontrolované části stroje a zařízení
- Popis záznamu o provedené kontrole
- Údaje o četnosti a intervalech preventivní kontroly
- Údaje o kontrolních parametrech a způsobu měření
- Datum provedené kontroly a příští kontroly

2.2.3. Plánování kroků preventivní údržby

Plánování kroků preventivní údržby zachycuje technologické postupy opravy podle jednotlivých operací a jejich dobu trvání. Ke každé operaci přiřazujeme plánované náhradní díly, pracovníky a nářadí. Dalším důležitým krokem je bezesporu i výkresová a technická dokumentace, která pracovníkovi poskytne důležité informace před zahájením prací. V technické dokumentaci jsou podrobně popsány jednotlivé kroky, dle kterých můžeme vytvořit pracovní příkazy preventivní údržby založené na časových nebo provozních kritériích, pracovní příkazy založené na neustálé aktualizaci s měnícími se podmínkami podniku a jeho priorit.

2.2.4. Sledování oprav při údržbě po poruše

Sledování oprav při údržbě po poruše, kdy prostředky jsou provozovány bez velkých nároků a nákladů, bez údržbářských zásahů většího či menšího rozsahu až do doby poruchy nebo havárie. Takto navržená údržba strojů a zařízení je zcela nevhodná a znemožňuje jakékoliv zavedení systémového řešení údržby. Proto sledování těchto oprav a následné odhalení příčin poruch, vede k dalšímu rozšíření preventivní údržby na daných problémových částech strojů a zařízení ve výrobním procesu.

2.2.5. Seznam náhradních dílů

Seznam náhradních dílů pro klíčová výrobní zařízení můžeme mít zajištěny buď v trvalém předzásobení v rámci celkového zajištění náhradních dílů nebo přímo zpracovaný systém náhradních dílů pro dané úkony jednotlivých preventivních prohlídek. Pro vytvoření seznamu náhradních dílů, ve kterém zpracujeme údaje jednotlivé dostupnosti v podobě:

- Seznamů dodavatelů
- Dodacích lhůt
- Nákladových složek

Jednotlivé skladové položky můžeme vyhledávat dle vlastnosti položky, zařízení a lokality. Můžeme sledovat skladované i neskladované položky na různých skladech rozdělených podle druhů údržeb (strojní, elektro atd.). Dále položky, ceny a stavy na skladě dle skladů, regálů a sérií. Objednávání položek automaticky podle potřeby, množství a bezpečné zásoby dle předdefinovaných údajů pro předzásobení nebo dle přímo zpracovaného systému náhradních dílů pro dané úkony jednotlivých preventivních prohlídek. Vydávání náhradních dílů přímo na daný pracovní příkaz shodným s identifikačním číslem na objednávkovém příkazu.

2.2.6. Dokumentování, hodnocení a zlepšování cílů údržby

Dokumentování, hodnocení a zlepšování cílů údržby, které jsou:

- Udržování hmotných majetků v provozuschopném a způsobilém stavu a na požadované úrovni pohotovosti a efektivity
- Předcházení vzniku poruch a následujících poruchových stavů
- Operativnější odstraňování vzniklých poruch
- Snižování environmentálních dopadů provozu a údržby výrobních zařízení
- Zajišťování bezpečnosti provozu údržbou výrobních zařízení

- Vynakládání optimálních nákladů na údržbu ve vztahu k dosahování pohotovosti a efektivnosti výrobních zařízení
- Vedením údržby k její excelenci

Zpracovaný záznam dokumentace o provedené preventivní kontrole stroje a zařízení by měl obsahovat základní informace:

- Datum provedené kontroly
- Čas a dobu trvání preventivní kontroly – prohlídky
- Čas odstávky stroje
- Náklady na preventivní kontrolu
- Bodové hodnocení preventivní kontroly
- Popis provedené preventivní prohlídky
- Možnost načítání provedených kroků
- Celkové hodnocení kontroly

Z hlediska zlepšování cílů údržby je důležité a zdůrazňující, že pro technickou a řídicí činnost údržby je nutno využívat všechny moderní nástroje zajištění údržby. Mezi tyto nástroje patří hlavně diagnostické systémy (vibrodiagnostika, tribodiagnostika, termografie atd.) k získání údajů o skutečném provozním stavu kritických systémů a informační technologie, která je z pohledu dnešní údržby nezbytná. Nesmíme zapomenout i zdůraznit, že žádný údržbářský systém nemůže fungovat bez kvalifikovaných lidí, bez školicích, vzdělávacích a certifikačních procesů a zcela i o nepřehlédnutelných zkušenostech letitých pracovníků údržby.

2.2.7. Sběr dat o provedené preventivní údržbě

Sběr dat o provedené preventivní údržbě, opravě a digitalizaci ručně psaných dokumentů pro každý úkon je vyjádření předepsaných a celkových provedených

prohlídek, určení hodnoty prostojů vzniklých vlivem plánovaných i neplánovaných činností vykonaných na strojích a zařízení a jeho částech, celkový počet vznikajících poruch, které byly identifikovány při prováděných preventivních prohlídkách. Zpracovaný záznam evidence a sledování provedených oprav obsahuje informace:

- Druh závady
- Kdo odstranění závady požaduje
- Čas závady a termín odstranění
- Popis zadání opravy
- Datum a čas opravy
- Náklady na opravu mzdové a materiálové
- Popis provedené opravy
- Zápis použitých náhradních dílů při opravě stroje

3. Technický návrh řešení preventivní údržby

K nejdůležitějším prostředkům zajištění údržby patří metody technické diagnostiky, která se zabývá bezdemontážními a nedestruktivními metodami a prostředky stanovení technického stavu daného stroje či zařízení. V praxi je hlavním nástrojem kontrolně inspekční a revizní činnosti, rozhoduje o nutnosti a rozsahu prováděných oprav.

Správnost a jednoznačnost diagnózy zkoumaného stroje či zařízení závisí na optimálním návrhu diagnostického systému, a to i z hlediska ekonomického a bezpečnostního a na pečlivé analýze diagnostikovatelnosti vybraných možných závad.

Diagnostický signál je často zahlcen rušením vlivem dalších jevů v daném objektu a vlivem okolního prostředí. Z toho vyplývá, že je nutno změřený diagnostický signál nejen analyzovat z hlediska detekce, lokalizace a rozpoznání typu závady, ale také z hlediska potlačení rušení.

3.1. Tribodiagnostika

Tribotechnická diagnostika je jednou z metod technické bezdemontážní technické diagnostiky, která využívá maziva ke zjištění technického stavu sledovaného objektu a současně zjišťuje kvalitu vlastního maziva. Maziva tedy slouží jako média pro získání informací o dějích a mechanických změnách v technických systémech, u nichž jsou aplikována.

Posláním tribotechnické diagnostiky je zjišťovat, vyhodnocovat a oznamovat výskyt cizích látek v mazivu, a to z hlediska kvantitativního a kvalitativního. Vhodná interpretace výsledků z provedených zkoušek umožňuje nejen včasné upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale mnohdy umožní také lokalizaci místa vzniku mechanické závady.

3.1.1. Základní úkoly tribodiagnostiky

Tribotechnická diagnostika plní dva hlavní úkoly:

- Sledování stavu opotřebení strojních zařízení
- Sledování degradace samotného maziva

Sledování stavu opotřebení strojních zařízení se provádí na základě stanovení obsahu otěrových kovů v mazivu, kde důležitý je hlavně trend naměřených hodnot.

Obraz o druhu opotřebení a technickém stavu jednotlivých třecích uzlů získáme odborným vyhodnocením množství, velikosti a tvaru otěrových částic.

Sledování degradace samotného maziva dovoluje určit životnost maziva zjištěním stupně jeho znehodnocení. Provádí se měřením a vyhodnocením parametrů maziva jako viskozita, kyselost, bod vzplanutí, obsah nečistot, atd. Na základě stanovení životnosti maziv je možné stanovit optimální intervaly jejich výměny nebo vyměňovat maziva po dosažení mezních hodnot.

3.1.2. Rozdělení metod tribotechnické diagnostiky

Sledování stavu opotřebení strojních zařízení:

- **Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů**
 - atomová spektrofotometrie
 - atomová emisní spektrofotometrie
 - atomová absorpční spektrofotometrie
 - polarografie a volumetrie
 - metoda RAMO

➤ **Metody pro hodnocení morfologie a distribučního rozdělení**

částic kovů

- částicová analýza neboli ferografie s vyhodnocením
- feroskopickým (morfologie a chemické složení)
- ferodenzimetrickým (distribuce vzhledem k velikosti)

Sledování degradace samotného maziva - jedná se o hodnocení fyzikálně chemických parametrů maziva aplikací:

➤ aplikací následujících testů:

- kinematická viskozita
- bod vzplanutí
- obsah vody
- číslo celkové alkality a kyselosti
- Conradsonův karbonizační zbytek
- kapková zkouška
- celkové znečištění
- mechanické nečistoty

➤ spektrální analýzy olejů

3.1.3. Kinematická viskozita

Je rozhodující vlastností maziva v oblasti hydrodynamického tření a je proto hlavním zkušebním údajem mazacích olejů a základem pro jejich třídění a výběr. Změny viskozity oleje mohou probíhat:

- zvyšováním viskozity
- poklesem viskozity

Zvyšování je způsobeno meziprodukty oxidační povahy, produkty částečné oxidace oleje, vytvářením emulze s vodou, případně znečišťováním kondenzačními produkty. Příliš vysoká viskozita způsobuje ztráty energie vzhledem k velkému koeficientu tření.

Pokles je způsoben především tepelnou a mechanickou degradací aditiv, popřípadě záměnou olejů, u motorových olejů vniknutím paliva do mazacího systému. Pokud by viskozita byla příliš nízká, docházelo by ke smíšenému až suchému tření, jehož důsledkem bývá velké opotřebení, v mezních případech až zadření třecích ploch.

3.1.4. Bod vzplanutí

Je důležitým jakostním i bezpečnostním ukazatelem mnoha druhů čistých maziv, u upotřebených olejů pak pokles hodnot slouží ke stanovení přibližného obsahu zředujících a hořlavých látek. Bod vzplanutí je nejnižší teplota, při které zahříváním v předepsaném přístroji za podmínek zkoušky přechází z oleje do ovzduší nad

hladinou oleje již tolik par, že vzniklá směs přiblížením plaménku vzplane a opět zhasne. Zkouška se provádí v kelímku na místě, které je chráněno od průvanu

a je dostatečně tmavé, aby bod vzplanutí byl dobře viditelný. Měrnou jednotkou je stupeň celsia [°C].

3.1.5. Obsah vody

Voda nebo vlhkost znehodnocují kvalitu maziva. Výskytu stopového množství kondenzující vody většinou nelze zabránit a bývá v oleji často přítomna.

Obecně se v mazacím oleji povoluje maximálně 0,2% hmotnostního obsahu vody.

Projevy přítomnosti vody v oleji:

- koroze součástí
- vypadávání aditivů
- pění
- tvorba emulze a kalů
- zvyšování viskozity
- snižování oxidační stability

Metody stanovení obsahu vody:

- **vizuální zkouška** - spočívá ve vizuálním posouzení dokonale protřepaného vzorku, je-li obsažena voda, dojde k zakalení oleje, u vzorků bez vody je olej čirý
- **prskací zkouška** – 2 až 3 kapky vzorku kápneme na vyhřátou zkušební plochu, pokud je vzorek bez stopy vlhkosti, pak povrch skvrny stejnorodý bez vzniku bublinek
- **Coulometrická metoda** - přesná metoda k určení stopových množství vody, v titrační nádobce se průchodem proudu uvolňuje jód J_2 , jeden mol jódu reaguje s jedním molem vody, po zreagování veškeré vody generovaným jódem je indikována koncentrace nadbytečného jódu v nádobce
- **destilačně** - zkouška vhodná pro kvantitativní stanovení množství vody, menší citlivost a přesnost než u coulometrické metody

3.1.6. Číslo alkality a kyselosti

- Číslo celkové alkality TBN - udává množství kyseliny chloristé, vyjádřené počtem mg hydroxidu draselného, které je třeba k neutralizaci všech zásaditých složek, přítomných v 1 g vzorku oleje. Ukazatel vyjadřuje celkovou alkalitu maziva. U čistého oleje udává velikost alkalické rezervy, u spotřebovaného oleje další životnost oleje.
- Číslo celkové kyselosti TAN - je definováno jako množství KOH v mg, spotřebované na neutralizaci všech kyselých složek obsažených v 1 gramu analyzovaného vzorku oleje. Hodnota nám udává nárůst látek kyselého charakteru. Kyselé složky oleje ve větším množství mohou korozivně napadat ložiskové materiály, zejména ložiskový bronz.

Pro stanovení čísla kyselosti přibližná metoda, kdy podstatou je neutralizace kyselých složek oleje hydroxidem alkalického kovu. Smícháme 5 ml oleje + 5 ml činidla ve zkumavce, dokonale protřepeme a pokud je horní vrstva roztoku modrá je výsledek dobrý, pokud se horní vrstva zbarví žlutě je výsledek nevyhovující. Přibližná metoda je spolehlivá, dostatečně přesná a lze ji použít jak v laboratoři, tak i v provozu jako diagnostickou rychlometodu.

3.1.7. Conradsonův karbonizační zbytek

je náchylnost k tvorbě uhlíkatých zbytků při vysokých teplotách. Vysoké CCT při provozu oleje charakterizuje zvýšenou tvorbu úsad. Karbonizační zbytek je hmotnostní podíl zbytku v % hmotnosti, který vznikne termickým rozkladem produktu bez přístupu vzduchu za podmínek předepsaných normou.

Podstata zkoušky:

- tepelný rozklad ropného výrobku bez přístupu vzduchu
- žíhání zbytku za stanovených podmínek
- stanovení získaného karbonizačního zbytku

3.1.8. Kapková zkouška

je orientační metoda pro zjištění stupně znečištění oleje a je měřítkem znečištění.

Mezi její výhody patří:

- rychlost a jednoduchost
- poskytuje informaci o velikosti znečištění maziva, o jeho detergentně-disperzních vlastnostech a přítomnosti vody nebo vlhkosti

Mezi její nevýhody patří:

- výsledky nejsou jednoznačné
- obvykle vyžaduje podrobnější laboratorní rozbor

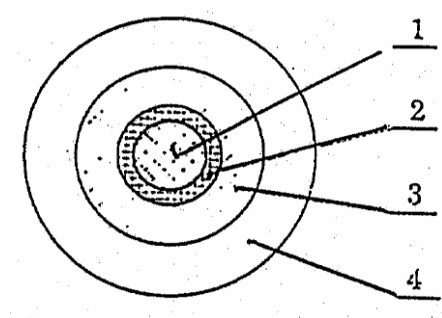
Kapková zkouška se provádí nanesením kapky oleje na vypnutý filtrační papír a sledování tmavosti, rozsahu a struktury vsáklé kapky oleje do porézního papíru.

Kapka nemá být spuštěna z větší výšky než 5 mm, aby se vyloučilo možné rozstříknutí oleje. Teplota oleje asi 20°C, pokud je olej horký, tak se nejprve nechá zchladnout. Čas potřebný k částečnému vsáknutí oleje min. 20 minut, dokonalá stabilizace vzniklého obrazce po několika hodinách.

Pokud má sledovaný olej ještě dobrou detergentní účinnost, skládá se vytvořená skvrna v ideálním případě ze čtyř základních zón:

- centrální zóna (1) - soustřeďuje největší částice a její neprůsvitnost charakterizuje znečištění maziva v přímém vztahu k obsahu karbonu a ostatních nerozpustných nečistot
- tenčí okrajová zóna (2) - udává rozlohu kapky před jejím úplným vsáknutím a tento úzký prstenec představuje nejzadnější vnější pásmo velkých karbonových částic

- různě tmavá difúzní zóna (3) - tvoří ji karbonové částice menší než $0,5\ \mu\text{m}$ a hodnotí detergentně-disperzní vlastnosti oleje – zmizení této oblasti u olejů signalizuje nebezpečí tvorby karbonových úsad v motoru
- vnější průsvitná olejová zóna (4) - neobsahuje nečistoty a její obvykle nažloutlé zbarvení souvisí s původní barvou maziva, velikostí oxidačních změn oleje nebo s přítomností oxidačně narušených frakcí paliva.



Obr. 1 Rozložení zón kapkové zkoušky

3.1.9. Celkové znečištění

Celkové znečištění patří ke smluvním zkouškám a jeho vyjádření závisí na principu používané metody.

Zdroje nečistot:

- primární - nečistoty nádrže, potrubí, hydraulických prvků, hydraulické kapaliny
- z okolí - nečistoty vniklé do soustavy po povrchu pístnice nebo netěsným plnicím, odvětrávacím otvorem nádrže
- vzniklé z obvodu - nečistoty vzniklé cirkulací hydraulické kapaliny nebo provozem jednotlivých prvků - koroze, eroze, opotřebení
- vzniklé z hydraulické kapaliny - nečistoty vzniklé samovolným vypadnutím aditivů z oleje - detergenty, disperzanty, protioděrové přísady, antioxidanty a další

Metody stanovení celkového znečištění:

- mikroskopické stanovení velikosti a počtu nečistot - částice zachycené na membránovém ultrafiltru jsou počítány pod mikroskopem podle velikosti pomoci okulárového měřítka a řazeny do 6 skupin:
 - $05 \div 15 \mu\text{m}$
 - $15 \div 25 \mu\text{m}$
 - $25 \div 50 \mu\text{m}$
 - $50 \div 100 \mu\text{m}$
 - nad $100 \mu\text{m}$

Celkový počet částic se zjišťuje statistickou metodou ze skutečného počtu zjištěných částic na části účinné plochy filtru.

- kód čistoty - metoda kódování úrovně znečištění pevnými částicemi se skládá ze dvou čísel
 - první řada čísel udává počet částic rovných nebo větších než $5 \mu\text{m}$ v 1 ml kapaliny
 - druhá řada čísel udává počet částic rovných nebo větších než $15 \mu\text{m}$ v 1 ml kapaliny
- stanovení obsahu mechanických nečistot na membránovém filtru - podstatou je filtrace za podtlaku membránovým ultrafiltrem, výsledkem je obsah mechanických nečistot v mg na 100 ml vzorku

3.1.10. Odběr vzorku

Hlavní zásady:

- vzorek musí představovat průměrné složení maziva v zařízení
- vzorky by měla odebírat jedna osoba
- zařízení musí být minimálně 20 minut v provozu z důvodu dokonalého promíchání a ohřátí oleje na provozní teplotu
- odpustíme cca 500 ml oleje do čisté nádoby a nalijeme zpět do zařízení
- po propláchnutí odběrných zařízení provedeme odběr cca 200÷250 ml oleje
- vzorky odebírají do čistých vzorkovnic o obsahu 300 ml
- odebraný vzorek se označí a předá k rozboru
- popis musí být přesný a čitelný a zejména musí obsahovat:
 - číslo a název stroje
 - mazané místo
 - druh maziva
 - datum odběru
 - kdo vzorek odebral
 - označení požadovaných rozborů

Stárnutí oleje je běžným jevem a vzniká v důsledku reakce se vzdušným kyslíkem, kde rozsah a rychlost změn závisí na chemickém složení maziva, na teplotě, na přítomnosti látek urychlujících nebo naopak zpomalujících oxidační reakce.

3.2. Vibrodiagnostika

Základním cílem sledování vibrací rotujících strojů je poskytnutí informací o provozním a technickém stavu za účelem zabezpečení plánování a řízení údržby. Důležitou součástí se stává i hodnocení stavu a průběhu vibrací za dobu provozu stroje či zařízení. Vibrace rotujících strojů jsou úzce vázány na dynamické namáhání související se stavy ložisek, převodovek, elektromotorů, strojních systémů, nevyváženosti, nesouososti, mechanického uvolnění, opotřebenosti součástí atd. Monitorování a vyhodnocení tak patří k základním a rozhodujícím metodám technické diagnostiky.

Diagnóza

Diagnóza je vyhodnocení provozuschopnosti stroje či zařízení za daných provozních podmínek.

Základní úkoly diagnózy:

- Detekce – odhalení přítomnosti vznikající poruchy
- Lokalizace – určení vadného místa vznikající poruchy
- Specifikace – stanovení příčiny vznikající poruchy vyhodnocením diagnostického signálu
- Predikce – určení zbytkové životnosti za účelem strategického plánování a řízení údržby

Vlastní vývoj vibrodiagnostiky se vytvářel přes jednoduché snahy o zesílení vibračního a dále hlukového signálu až k použití nejmodernější měřicí techniky s maximální schopností zmapování sledovaného technického stavu stroje či zařízení. Důležitým milníkem bylo zavedení informační technologie, které umožnilo nejen samotné měření vibračního signálu, ale hlavně přednosti v okamžitém vyhodnocení daného měření.

3.2.1. Provozní vyvažování rotujících objektů

Mnoho moderních analyzátorů vibrací je vybaveno zabudovaným programem pro provozní vyvažování, jako je sběr dat, provedení výpočtů a provedení požadované opravy nevyváženosti. Na základě těchto dat v místě uložení rotoru na ložiskách je většinou možno spolehlivě rozhodnout o jakou nevývahu jde, za předpokladu symetricky rozložené hmotnosti a symetricky uloženého rotoru. V jiných případech je nutné dále upravovat:

- Pokud rotor vykazuje statickou nevývahu, pak vibrace budou vykazovat stejné amplitudy a fáze na obou ložiscích
- Pokud rotor vykazuje momentovou nevývahu, jsou vibrace na obou ložiscích stejné úrovně s odečtem fáze posunutým o 180°
- Pokud rotor vykazuje kvazistatickou nevývahu, jsou vibrace rozdílné úrovně na jednotlivých ložiskách a fáze je posunutá o 180°
- Pokud rotor vykazuje dynamickou nevývahu, mají vibrace rozdílné odečty amplitud a fázi na jednotlivých ložiskách

Základní zásady nevývahy:

- Dominantní vibrace jsou na otáčkové složce
- Vibrace v horizontálním směru jsou většinou větší, než ve vertikálním směru
- Rozdíl fáze v horizontálním a vertikálním směru na jednom ložisku je kolem 90°
- Fáze v horizontálním směru obou ložisek je rovna kolem $\pm 30^\circ$ a stejné to samé platí i fáze vertikálních vibrací obou ložisek
- Hodnota celkových vibrací je rovna kolem úrovní vibrací otáčkové složky
- Orbita vibrací by měla být mírně eliptická

- Rozdíl úrovně horizontálních a vertikálních vibrací nesmí být větší než 1 : 5
- Nízké amplitudy násobků otáčkové složky
- Nízké axiální vibrace, i když tyto nemusí být u letmo uložených rotorů, kde axiální vibrace mohou být větší

Vlastní postup vyvažování

- Provedení referenčního měření – roztočení objektu na provozní otáčky, změření a uložení referenčních hodnot, určení hodnoty testovacího závaží výpočtem, upevnění testovacího závaží na určené místo, opětovné roztočení objektu na provozní otáčky a změření hodnoty odezvy
- Provedení opravného měření – výpočet opravného závaží, připevnění opravného závaží po odstranění testovacího na vypočtené místo, roztočení objektu na provozní otáčky a změření hodnoty odezvy
- Ukončení měření – pokud provedené vyvažování je v pořádku, pak ukončíme měření, pokud není v pořádku, pak opravný postup opakujeme

3.2.2. Nesouosost

Škody způsobené nesouosostí je druhá nejčastější příčina poškození strojů hned po vyvážení rotorů. Těmto škodám lze předcházet správným vyrovnaním os, kdy lze hledat změny polohy hřídele v provozním stavu oproti montážnímu stavu v důsledku ložiskových vůlí, sil v ozubení a hydrodynamického mazání, šikmé poloze hřídelů, radiálním a axiálním házením přírub, chybách montáže, pružné deformaci základů nebo skříní strojů, teplotní roztažení hřídelů strojů atd. Při těchto chybách vyrovnaní dochází k násilnému spojení přírub spojek, kdy dochází k ohybovému namáhání rotoru při otáčení.

Druhy nesouososti:

- Rovnoběžná nesouosost
- Úhlová nesouosost
- Rovnoběžná a úhlová nesouosost

Rovnoběžná nesouosost má velké radiální vibrace u spojky v protifázi, 2x otáčková frekvence je často větší než 1x otáčková, ale její velikost vzhledem k první harmonické složce otáček je často určena typem a konstrukcí spojky. Při velkém přesazení se generují amplitudy s 4x až 8x vyšší harmonické složky otáčkové frekvence.

Úhlová nesouosost je typická velkými axiálními vibracemi. Přes spojku se mění fáze o 180° , v typickém případě jsou velké axiální vibrace s první a druhou harmonickou složkou otáček, i když není obvyklé, že dominuje 1x, 2x nebo 3x otáčková frekvence.

3.2.3. Letmo uložený rotor, ohnutý hřídel, mechanická vůle

Letmo uložený rotor

Způsobuje velké axiální vibrace v protifázi a vibrace v radiálním směru s nestálou fází, při měření je nutné dbát pozornost na orientaci snímačů v axiálním směru.

Ohnutý hřídel

Způsobuje vibrace na základní a dvojnásobné frekvenci otáček, kdy amplitudy pro dvojnásobek může činit 30% až po 100 – 200% amplitudy základní otáčkové frekvence. Naměřené hodnoty v radiálním směru jsou zvláště ve fázi a v axiálním směru je obvykle posunutá o 180° , za tolerance měření fáze $\pm 30\%$.

Mechanické vůle

Projevuje se dlouhým sledem vysokých amplitud harmonických složek ($2x$, $3x$,...), otáčkové frekvence subharmonických složek ($1/2x$, $2/3x$...)a interharmonických složek ($1,5x$, $2,5x$...). Vibrace jsou ve větší míře v radiálním směru, ale jsou často silně směrově závislé v oblasti $\pm 30^\circ$.

3.2.4. Vibrace ozubených převodů

Odpovídají oblasti středního kmitočtů a lze jimi detekovat tyto závady:

- Opotřebení stykové plochy zubů
- Rozdílná šířka zubů
- Ozubená kola s vyštípnutým nebo zlomeným zubem
- Nesouosost hřídelů s ozubenými koly
- Uvolnění ozubeného kola na hřídeli
- Nadměrná vůle mezi zuby způsobující oscilaci kola

Zubová frekvence: $f_z = f_1 \cdot n_1 = f_2 \cdot n_2$

f_zzubová frekvence

f_1 a f_2otáčková frekvence kol

n_1 a n_2počty zubů kol

Typickým projevem poškození zubů je nárůst složek druhé a třetí harmonické zubové frekvence, která je větší než základní zubová frekvence. Dalším znakem je výskyt postranních pásem kolem již zmiňovaných zubových frekvencí.

Poruchy záběru zubů za otáčku jsou lokální a distribuované, kdy distribuované poruchy působí na všechny zuby.

Diagnostika ozubených převodů se provádí keprální analýzou, což je metoda, která hledá periodické děje ve frekvenčním spektru a udává periodické jevy ve frekvenční oblasti modulace postranního pásma.

3.2.5. Valivá a kluzná ložiska

Jsou to nejpoužívanější strojní součásti a z hlediska plánování a řízení údržby patří ložiska k nejdůležitějším problémům zajištění provozní spolehlivosti.

Kluzná ložiska

Základním principem je vytvoření mazacího filmu mezi rotujícím čepem a pouzdem kluzného ložiska, kde rotující čep je držen v ložiskovém pouzdu hydrodynamickými silami, které pak zmenšují třecí ztráty v ložisku. Důležitou podmínkou provozu kluzného ložiska je jeho stabilita, tento jev můžeme nazvat jako rozdíl mezi středem ložiska a středem čepu. Tento jev ovlivníme snížením zatížení, zvýšením viskozity a zvýšením obvodové rychlosti.

Základní problémy:

- Opotřebení a nadměrná vůle – problémy s mazáním, nesprávným zatížením, uvolněním a zvýšením vůlí v ložisku. Pozdější stadia opotřebení se projevují řadou harmonických násobků otáčkové frekvence.
- Víření oleje – tato nestabilita se objevuje na 0,40 – 0,48 otáčkové frekvence hřídele, když odchylky od normálních provozních podmínek způsobí, že olejový klín tlačí hřídel dokola v ložisku. Nestabilita je často dosti výrazná a příčinou vzniku může být:
 - Nízké dynamické a zatěžující síly
 - Výrazné opotřebení kluzného ložiska nebo velké vůle

- Změna vlastností oleje, respektive viskozity oleje
 - Zvýšení nebo snížení tlaku oleje nebo jeho teploty
 - Změna vnitřního tlumení
-
- Tlučení oleje – tato nestabilita se objevuje na a nad dvojnásobkem kritické otáčkové frekvence rotoru, kdy může zapříčinit nadměrné vibrace, které již neunesou olejový film. Tento nestabilní jev může způsobit katastrofální poruchy stroje či zařízení.
 - Abrazivní opotřebení
 - Kavitační a erozivní opotřebení
 - Koroze
 - Únavové praskliny kompozice

Valivá ložiska

Valivá ložiska jsou nejvíce používaným prvkem pro přenos sil mezi jednotlivými díly rotujících strojů a zařízení. Jsou vyvíjeny stále kvalitnější konstrukce pro snížení únavy ložisek a zároveň k zvýšení jejich životnosti. Cílem monitorování závad ložisek je zjištění přesného odhadu poruchy funkčnosti ložisek, tak aby bylo možno:

- Zabránit nákladným odstávkám při katastrofických poruchách
- Prodloužit životnost ložiska do doby únavové životnosti
- Minimalizovat sklad ložisek podle odhadnutého času pro výměnu

U ložisek dochází povrchovou únavou materiálu ložiskových komponentů k:

- Vydrolování materiálu povrchové vrstvy
- Otěru nárůstem vůle
- Korozi

- Rýhování
- Prohlubeninám
- Poruchám klece

U ložisek lze lokalizovat poškození jednotlivých komponentů na základě charakteristických poruchových ložiskových frekvencí určených z rozměrů vnějšího a vnitřního průměru kroužku, roztečného průměru, průměru kuličky nebo válečku a úhlu dotyku valícího elementu a stěnu kroužku.

Poruchové frekvence:

- Poškození vnějšího kroužku (BPFO) = $\frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} (1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta)$
- Poškození vnitřního kroužku (BPFI) = $\frac{n}{2} * \frac{RPM}{60} (1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \beta)$
- Poškození valivých elementů (BSF) = $\frac{P_d}{2B_d} * \frac{RPM}{60} \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \right)^2 \cos^2 \beta \right]$
- Poškození klece (FTF) = $\frac{1}{2} * \frac{RPM}{60} (1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \beta)$

V počáteční fázi opotřebení ložiska s povrchovými defekty při kontaktu kov na kov se šíří akustická emise ve frekvencích až do několika MHz.

V druhé fázi poškození ložiska dochází k poškození jednotlivých komponentů, ale vibrační spektrální složky jsou zcela maskovány nízkofrekvenčními spektrálními složkami v pásmu v rozmezí 20 – 60 kHz.

V třetí fázi poškození komponentů ložiska již poškozený prvek vyvolává při pohybu stykem s dalším prvkem mechanické rázy, při nichž dochází k přenosu kinetické energie, kdy se těleso po rázu rozkmitá na vlastním kmitočtu v rozmezí 5 – 20 kHz. V další fázi poškození komponentů ložiska již zaznamenáváme vibrace v oblasti nízkých kmitočtů, kdy dochází i k nárůstu otáčkových spektrálních složek.

Diagnostika obálkovou metodou

Jednou z metod zjišťování detekce poškození ložiska je obálková metoda, jejímž účelem je zvýraznění malých signálů dvoustupňovým procesem. Nejprve oddělí ložiskové signály o vyšších frekvencích od nízkofrekvenčních vibrací pomocí pásmového filtrování. Proces filtrování zapříčiní sérií špiček, které odpovídají rázům jednotlivých ložiskových komponentů při průchodu přes poškození. Signál je v časovém oboru velmi úzký, komponenty se rozloží na velmi široký frekvenční rozsah, kdy jsou amplitudy harmonických složek frekvence závady ponořeny v šumu. Pokud je signál zpracován Fourierovou transformací, ukazuje ložiskové poruchové frekvence a jejich harmonické složky.

3.2.6. Měření a vyhodnocení vibrací

Při měření vibrací by měl výstupní signál co nejpřesněji odpovídat samotnému průběhu mechanického kmitání a pro tento výstupní signál existují dva základní typy snímačů:

- Seismické snímače, které jsou instalovány na konstrukci stroje či zařízení a výstup je mírou absolutních vibrací konstrukce
- Snímače relativní výchylky, které měří vibrační výchylku a střední polohu mezi rotujícími a nerotujícími komponenty

Snímače pro monitorování stavu vibrací jsou:

- Akcelerometry – nejrozšířenější seismické zařízení, výstup může být zpracován tak, abychom mohli měřit buď zrychlení, rychlost nebo výchylku vibrací, jsou instalovány na nerotující část stroje, jsou dostupné s různými rezonančními frekvencemi, možnost umístění na malou montážní plochu, měření i při vysokých teplotách nebo v silných magnetických polích, obsahuje jeden nebo více piezoelektrických krystalových elementů, které vytváří elektrický náboj a rozeznáváme buď tlakový či smykový akcelerometr



Obr. 2 Akcelerometr

- Snímače rychlosti vibrací – výstup lze integrovat na výchylku vibrací, seismické zařízení, jsou instalovány na nerotující část stroje, uvnitř snímače je cívka, která vlivem vibrací kmitá v poli permanentního magnetu
- Bezdotykové sondy – výstup je přímo úměrný relativní výchylce vibrací mezi rotujícími a nerotujícími komponenty stroje, může přímo ověřit vibrační výchylku rotující části vůči nerotující, dává střídavou složku pro vibrační pohyb a stejnosměrnou pro polohu, většina sond pracuje na principu vířivých proudů

Přípevnění snímačů:

- Pevný šroubový spoj – žádné snížení rezonanční frekvence v důsledku připevnění
- Izolovaný šroubový spoj - rezonanční frekvence je mírně snížena asi na 28 kHz
- Přilepení tuhým lepidlem - rezonanční frekvence je snížena asi na 28 kHz
- Přilepení měkkým epoxidem - rezonanční frekvence je snížena asi na 8 kHz

- Připevnění permanentním magnetem - rezonanční frekvence je snížena asi na 7 kHz
- Ruční sonda se snímačem - rezonance je snížena asi na 2 kHz, ale tato metoda není doporučena pro měření nad 1kHz

Rozdělení signálů:

- Deterministický signál – signál, jehož časový průběh je předvídan
- Stochastický signál – náhodný signál, jehož průběh nelze předvídat
- Přejímový signál - signál, jehož průběh je časově omezen
- Periodický signál – je složen z harmonických signálů, které jsou násobkem jedné základní frekvence
- Kvasiperiodický signál – signál, jenž je rovněž složen z harmonických signálů s frekvencemi, které jsou násobky alespoň dvou základních frekvencí
- Stacionární a nestacionární signál – průběh signálu má ustálený charakter nebo se v čase mění, jenž ukazuje, že záleží na délce záznamu signálu, kdy průběh stacionárního signálu má dlouhý časový úsek a nestacionární krátký časový úsek

Frekvenční analýza FFT

Frekvenční analýza vibračních signálů pomocí Fast Fourierovou transformací je základní a nejpoužívanější metoda, která využívá periodických dějů, která pak v souřadném systému zobrazí. Využijeme-li souřadný systém amplituda a frekvence, hovoříme o frekvenčním spektru a pokud použijeme souřadný systém amplituda a čas, pak hovoříme o časovém průběhu. Naměřené hodnoty jsou zpracovány, analyzovány a zobrazeny ve formě tabulek a grafů pomocí zařízení pro monitorování vibrací. Frekvenční rozklad je množství sinusových signálů s danou amplitudou a počáteční fází a případné zhoršení jednotlivých zdrojů budících frekvencí ve spektru

vibrací jsou významným nástrojem pro diagnostiku. Výhody Fast Fourierové transformace jsou:

- Rychlost
- Přesnost
- Srozumitelné nastavení parametrů
- Realizovatelnost ve formě univerzálního elektronického obvodu

Měření vibrací je vlastně vyjádření amplitudy sinusového signálu, kde se využívá daných vyjádření:

- Špička (peak) – vzdálenost mezi vrcholem a nulovou úrovní
- Špička – špička (peak – to – peak) – vzdálenost mezi nejnižším a nejvyšším vrcholem vlny
- Průměrná hodnota (Average) – vzhledem k neideálnímu sinusovému průběhu je průměrná hodnota nenulová
- Efektivní hodnota (RMS) – porovnání energie stejnosměrného a střídavého proudu

Postup pro určení objektivního technického stavu diagnostického objektu je:

- Výpočet frekvencí zdrojů buzení
- Zpracování metodiky měření
- Provedení provozních měření
- Objasnění a analýza naměřených hodnot

4. Návrh systému údržby vybraných klíčových objektů

Základním úkolem plánování a řízení údržby je dosáhnout dlouhodobé rovnováhy mezi hodnotou provozovaných zařízení, jejich spolehlivostí a bezpečností a náklady na údržbu. Klíčem k dosažení této rovnováhy je především oblast plánované preventivní údržby, kde vzniká rozhodující část ovlivnitelných nákladů.

K tomuto systému nám dopomůže informační technologie, jejíž aplikací tak vedoucí pracovník údržby získá jedinečný prostředek pro řízení údržbářské činnosti, rychlý přístup ke všem informacím potřebným k účinnému rozhodování. Archivovaná data soustředí pozornost údržby k těm systémům a zařízením, která mají nejvyšší náklady na opravy a zároveň odhalí i vliv lidského činitele v procesu údržby.

Společným zájmem pro všechny tyto programy preventivní údržby je metodický pokyn - směrnice pro plánování. Veškeré programy řízení preventivní údržby předpokládají, že zařízení bude stárnout ve statistickém časovém rámci typickém pro jeho konkrétní klasifikaci.

Metodický pokyn - směrnice pro plánování preventivní údržby strojů a zařízení musí obsahovat určité požadavky:

- Rozdělení klíčových strojů a zařízení
- Postupy preventivní údržby
- Plánování kroků preventivní údržby
- Náhradní díly pro klíčová výrobní zařízení
- Sběr dat o provedené preventivní údržbě
- Vyúčtování preventivní prohlídky

4.1. Rozdělení klíčových strojů

Pro takto zpracovanou problematiku preventivních prohlídek, použijeme účelné rozřídění všech strojů, zařízení a jejich částí zahrnutých do systému, na předem určené skupiny. Zařazení do jednotlivých tříd musíme provést individuálně pro každý jednotlivý stroj či zařízení se zřetelem k jeho zapojení a využití ve výrobním procesu.

Po vytvoření seznamu klíčových strojů a zařízení a stanovení příslušných priorit se k nim stanoví četnosti technických a praktických prohlídek. Četnost prohlídek je přímo ovlivněna významem daného stroje ve výrobním procesu. Jednotlivé úkony pro preventivní prohlídky získáváme z technické dokumentace strojů a zařízení zpracované a doporučené výrobcem. Takto zpracované informace mohou být ještě doplněny o další úkony dle zkušeností údržby s podobnými stroji a zařízeními ve výrobním provozu.

4.2. Postupy a plánování preventivní prohlídky

Základem vytvoření systému plánované údržby jsou pracovní příkazy, vydávané na přesně danou údržbářskou práci, která je vykonávána vlastními pracovníky nebo pracovníky externí firmy. Pracovní příkaz je vytvořen na základě časového plánu preventivní údržby.

Pracovní příkaz obsahuje základní informace pro plánování, které jsou:

- Technologické pracovní postupy
- Předkalkulace
- Seznam pracovníků
- Odkazy na náhradní díly
- Odkazy na nářadí
- Odkazy na výkresovou dokumentaci
- Bezpečnostní předpisy vztahujících se k provádění údržbářského zásahu

- Bezpečné odstavení zařízení a postupy vypnutí a zapnutí různých médií vstupujících do zařízení

Dále je možné sledovat celý průběh příkazu daným stavem od vydání, přes schválení a rozpracování až po ukončení a uzavření pracovního příkazu. U všech těchto stavů pracovního příkazu je sledována osobní odpovědnost jednotlivých pracovníků.

4.3. Seznam náhradních dílů

Jednotlivé náhradní díly pro klíčové objekty jsou zajištěny v trvalém předzásobení v rámci celkového zajištění náhradních dílů pro dané úkony jednotlivých preventivních prohlídek. Tyto náhradní díly můžou být dále rozděleny pro jednotlivé typy údržeb (strojní, elektro...) a vydávání náhradního dílu je řešen přímo na daný pracovní příkaz shodným s identifikačním číslem objednávkového příkazu.

4.4. Sběr dat o provedené preventivní prohlídce

Sběr dat o provedené preventivní prohlídce je vyjádření předepsaných a celkových provedených činnostech, určení hodnoty prostojů vzniklých vlivem plánovaných i neplánovaných činností vykonaných na strojích a zařízení a jeho částech, celkový počet vznikajících poruch, které byly identifikovány při prováděných preventivních prohlídkách. Zpracovaný záznam evidence a sledování provedených oprav obsahuje informace:

- Datum provedené preventivní prohlídky
- Čas a dobu trvání preventivní prohlídky
- Čas odstávky stroje
- Bodové hodnocení preventivní kontroly
- Popis provedené preventivní prohlídky
- Možnost načítání provedených kroků

- Celkové hodnocení kontroly

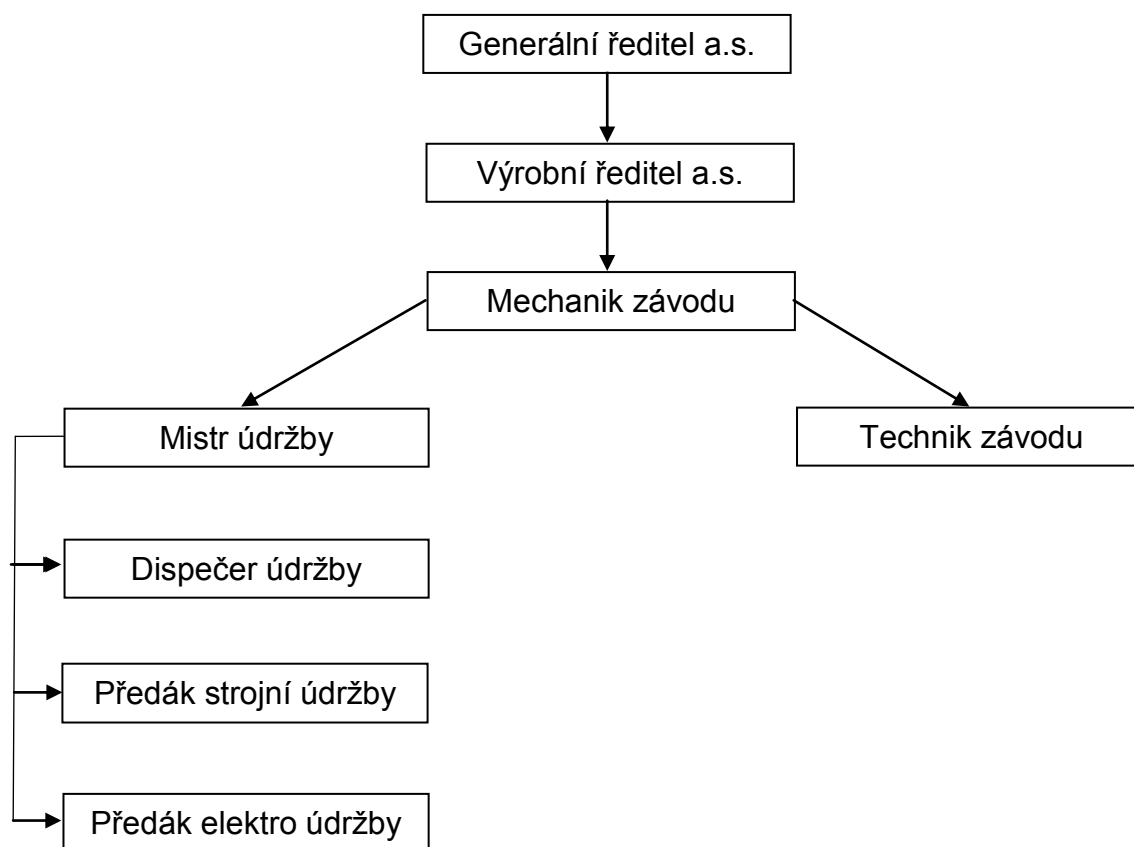
4.5. Vyúčtování preventivní prohlídky

Zpracování dat preventivní prohlídky pro zaúčtování je důležitým hlediskem sledování jednotlivých nákladů, které jsou:

- Mzdové náklady na vykonanou práci
- Mzdové náklady na náhradní díly
- Mzdové náklady externí firmy

5. Návrh reengineeringu údržby celého provozu vycházející ze systému údržby klíčových strojů

Reengineering chápeme jako zásadní přehodnocení a celkové rekonstrukce firemních procesů z pohledu kritických měřítek výkonnosti, nákladovosti, cílů a strategie, koncepce až po změny v organizační struktuře firmy.



Obr. 3 Základní ideový návrh organizačního schématu údržby a.s.

5.1. Základní ideový návrh organizačního schématu údržby a.s.

Zpracovaný organizační tým pro zajištění údržby firmy, by měl obsahovat dostatek lidského potenciálu pro co nejlepší realizaci daných problémů, spojených se zajištěním provozuschopnosti výrobního úseku a celé firmy.

Organizační struktura:

➤ **Mechanik závodu**

- Zajišťování údržby a oprav strojů a zařízení interní údržbou
- Sledování externích zakázek od realizace až ukončení zakázky
- Provádění výběrového řízení na dodavatele externích prací a služeb
- Sledování nákladů interní a externí údržby
- Tvorba plánů revizí v souladu s normami
- Koordinace a optimalizace údržby
- Technický rozvoj údržby
- Prověření příčin závad, provozních nehod, poruch a havárií strojů či zařízení, stanovuje opatření, kontroluje jeho dodržování
- Uvedení nových strojů či zařízení do provozu při dodržení všech bezpečnostních, požárních a souvisejících předpisů
- Zajišťování péče o základní prostředky
- Zabezpečuje další nespecifikované úkoly pro potřeby firmy

➤ **Mistr údržby**

- Zajišťování údržby a oprav strojů a zařízení interní údržbou
- Organizuje, rozděluje, bezprostředně řídí a kontroluje práci na středisku údržeb
- Zajišťování provádění preventivní údržby klíčových strojů a zařízení
- Ve spolupráci s dispečerem zpracovává požadavky na materiál a náhradní díly pro opravy a údržbu
- Nařizuje a eviduje přesčasovou práci, zajišťuje pracovní pohotovost
- Spolupráce s revizními technikami při provádění revizí
- Zajišťuje podklady pro kontrolu nákladů na údržbě
- Odpovídá za dodržování BOZP svých podřízených a s tím spojené provádění pravidelných školení
- Zabezpečuje další nespecifikované úkoly pro potřeby firmy

➤ **Dispečer údržby**

- Zajišťuje předávání požadavků na opravy, údržbu a preventivní prohlídku
- Vystavování objednávek na zajištění materiálů a náhradních dílů
- Zajišťuje evidenci a předávání požadavků na materiál a náhradní díly
- Vyhodnocuje požadavky na opravu, údržbu a preventivní prohlídky
- Sledování a doplňování karet strojů a zařízení
- Dohled nad technickou dokumentací strojů a zařízení
- Zajišťování odběru materiálů a náhradních dílů ze skladu

➤ Technik závodu

- Zajišťuje a kontroluje provádění revizních činností na vyhrazených zařízeních, včetně vedení potřebné dokumentace
- Zajišťuje odstraňování revizních závad buď interní údržbou nebo externí firmou
- Zajišťuje objednávky na opravy, údržbu a preventivní prohlídky externí firmou, předání a převzetí prací, likvidace faktur
- Sledování nákladů na externí údržbu
- Sledování a doplňování karet strojů a zařízení
- Přípravuje podklady pro převody a vyřazení drobného a dlouhodobého majetku
- Doplňuje agendu v oblasti ČSN, metrologie, technické dokumentace, provozních řádů
- Zajišťuje podklady pro výběrová řízení na dodavatele externích prací a služeb
- Zabezpečuje další nespecifikované úkoly pro potřeby firmy

Každé zpracování reengineeringu je specifické pro každý systém údržby jednotlivého podniku a zavedené změny mají svůj přínos až po určité době, která je rovněž součástí zpracovaného reengineeringu.

6. Závěr

Preventivní údržba je založena na plánování preventivních prohlídek strojů a zařízení, které mají odhalit a odstranit takové kritické stavy, které by mohly vést k předčasným poruchám a ke ztrátám ve výrobě nebo poškození. Daný systém je velmi nákladný, protože je založen na pevném časovém cyklu bez objektivního technického stavu daného stroje či zařízení. Při preventivní údržbě je výhodou plánované odstavení, které vytváří technologické odstávky k řešení výrobních problémů v kompromisu s výrobou.

Využitím tribodiagnostiky v údržbě máme možnost zjišťovat, vyhodnocovat a oznamovat výskyt cizích látek v mazivu, a to z hlediska kvantitativního a kvalitativního. Dále nám z výsledků provedených zkoušek umožňuje nejen včasné upozornit na příznaky vznikající poruchy, ale mnohdy umožní také lokalizaci místa vzniku mechanické závady.

Využitím vibrodiagnostiky v údržbě máme možnost monitorovat a vyhodnocovat vibrace rotujících strojů, zjišťovat možné blížící se poruchy vyplývajícího ze špatného konstrukčního provedení nebo zjišťovat nevyhnutelné poruchy zapříčiněné samotnou životností stroje či zařízení. Dále nám poskytuje informace o provozním a technickém stavu za účelem zabezpečení plánování a řízení údržby.

Velmi důležitým úkolem je využití informačního systému pro sledování informací od zavedení pracovního příkazu, jednotlivých postupů preventivních prohlídek, včasné zajištění náhradních dílů, vyhodnocení až po vyúčtování. Pomocí informačního systému můžeme řídit celý chod údržby včetně plánování, sledování produktivity a efektivity údržby.

Ve své práci jsem chtěl využít znalostí, které by byly přínosem nebo částečným návodem pro změnu v systému údržby.

Literatura

- [1] ZIEGLER, J. - HELEBRANT, F. - MARASOVÁ, D.: *Technická diagnostika a spolehlivost I – Tribodiagnostika*, vydala VŠB – Technická universita Ostrava 2004, 158 str., dotisk 1. vydání, ISBN 80 – 7078 – 883 – 6
- [2] ZIEGLER, J. - HELEBRANT, F.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*, vydala VŠB – Technická universita Ostrava 2005, 178 str., dotisk 1. vydání, ISBN 80 – 248 – 0650 – 9
- [3] HELEBRANT, F.: *Technická diagnostika a spolehlivost IV – Provoz a údržba strojů*, vydala VŠB – Technická universita Ostrava 2008, 130 str., 1. vydání, ISBN 978 – 80 – 248 – 1690 – 6
- [4] KREIDL, M. – ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*, vydalo nakladatelství BEN Praha 2006, 408 str., 1. Vydání, ISBN 80 – 7300 – 158 – 6
- [5] SCHENCK CARL AG, PRVNÍ BRNĚNSKÁ STROJÍRNA.: *Preventivní údržba strojů*, vydalo SNTL – Nakladatelství technické literatury Praha 1989, 352 str., 1. vydání,
- [6] <http://www.maximo.cz>
- [7] <http://www.palstat.cz>
- [8] <http://www.fs.vsb.cz/akce/1998/asr98/Sbornik/bednarik/bednarik.htm>
- [9] http://www.skf.com/portal/skf_cz/home

Přílohy

[1] Požadavek na provedení opravy

[2] Požadavek na materiál

[3] Karta stroje

[4] MicroVibe P CMVL 3850

[5] Microlog CMVA 60 ULS